



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2002076483 A**(43) Date of publication of application: **15.03.02**

(51) Int. Cl.

**H01S 3/10**  
**H01S 3/06**  
**H01S 3/131**

(21) Application number: **2000266256**(22) Date of filing: **01.09.00**(71) Applicant: **FUJIKURA LTD**

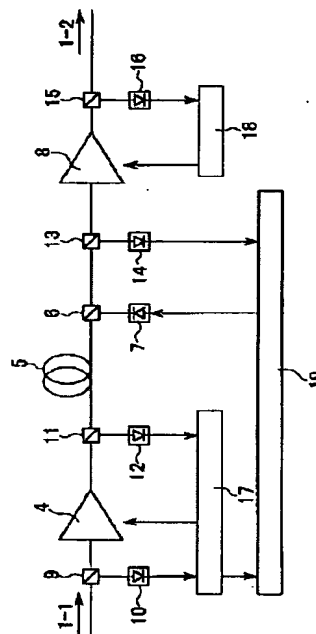
(72) Inventor: **KITABAYASHI KAZUHIRO**  
**SAKAI TETSUYA**

**(54) OPTICAL FIBER AMPLIFIER****(57) Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an optical fiber amplifier not changing the flatness of gain over a wide wavelength band.

**SOLUTION:** A thulium doped optical fiber 5 is provided between a first erbium-doped optical fiber amplifier 4 and a second erbium-doped optical fiber amplifier 8. A gain fixing control circuit 17 for controlling the gain of the first erbium-doped optical fiber amplifier 4 to be fixed, a gain control circuit 18 for controlling the power of signal light outputted from the second erbium-doped optical fiber amplifier 8 to be fixed and an absorption loss control circuit 19 for monitoring the input signal light 1-1 and the signal light outputted from the thulium-doped optical fiber 5 and changing the absorption characteristics of the light of the thulium-doped optical fiber 5 are provided and this optical fiber amplifier is constituted.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-76483

(P2002-76483A)

(43) 公開日 平成14年3月15日 (2002.3.15)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード(参考)

H 0 1 S 3/10

H 0 1 S 3/10

Z 5 F 0 7 2

3/06

3/06

B

3/131

3/131

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願2000-266256(P2000-266256)

(22) 出願日 平成12年9月1日(2000.9.1)

(71) 出願人 000005186

株式会社フジクラ

東京都江東区木場1丁目5番1号

(72) 発明者 北林 和大

千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ

クラ佐倉事業所内

(72) 発明者 酒井 哲弥

千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ

クラ佐倉事業所内

(74) 代理人 100064908

弁理士 志賀 正武 (外3名)

Fターム(参考) 5F072 AB09 AK06 HH02 HH09 JJ05

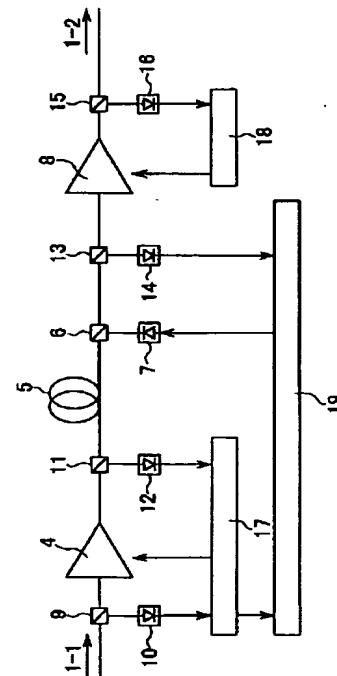
KK30 PP07

(54) 【発明の名称】 光ファイバ増幅器

(57) 【要約】

【課題】 広い波長帯において利得の平坦性が変化しない光ファイバ増幅器を提供する。

【解決手段】 第1のエルビウム添加光ファイバ増幅器4と第2のエルビウム添加光ファイバ増幅器5との間に、トリウム添加光ファイバ5を設け、該第1のエルビウム添加光ファイバ増幅器4の利得を一定に制御する利得一定制御回路17と、第2のエルビウム添加光ファイバ増幅器8から出力される信号光のパワーを一定に制御する利得制御回路18と、入力信号光1-1とトリウム添加光ファイバ5から出力される信号光をモニターしてトリウム添加光ファイバ5の光の吸収特性を変化させる吸収損失制御回路19を設けて光ファイバ増幅器を構成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 のエルビウム添加光ファイバ増幅器と第 2 のエルビウム添加光ファイバ増幅器との間に、ツリウム添加光ファイバが設けられた光ファイバ増幅器であって、

第 1 のエルビウム添加光ファイバ増幅器に入力される信号光のパワーと、第 1 のエルビウム添加光ファイバ増幅器から出力される信号光のパワーをモニターして、当該第 1 のエルビウム添加光ファイバ増幅器の利得を一定に制御する利得一定制御回路と、

第 2 のエルビウム添加光ファイバ増幅器から出力される信号光のパワーをモニターして、当該第 2 のエルビウム添加光ファイバ増幅器から出力される信号光のパワーが一定になるように該第 2 のエルビウム添加光ファイバ増幅器の利得を制御する利得制御回路と、

前記第 1 のエルビウム添加光ファイバ増幅器に入力される信号光のパワーと、ツリウム添加光ファイバから出力される信号光のパワーをモニターして、該ツリウム添加光ファイバの光の吸収特性を制御する吸収損失制御回路とを備えていることを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の光ファイバ増幅器において、吸収損失制御回路が、吸収光制御光源からツリウム添加光ファイバに入力される吸収損失制御光のパワーを制御することによって、ツリウム添加光ファイバの光の吸収特性を制御しているものであることを特徴とする光ファイバ増幅器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は信号光の増幅を行う光ファイバ増幅器に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 近年、石英ガラス系の光ファイバのコアにエルビウム (Er)、プラセオジウム (Pr) などの希土類元素を添加した希土類添加光ファイバを用いた光ファイバ増幅器が実用レベルに達している。特にエルビウム添加光ファイバを用いた光ファイバ増幅器は、1.55  $\mu\text{m}$  帯において高利得、高飽和出力を有することから、基幹伝送系、加入者系などのさまざまな商用システムに適用されている。

【0003】 その中でも、信号光を数波以上用いた WDM 伝送 (波長多重伝送) への利用が注目されている。そして、WDM 伝送の高機能化を目指して光ファイバ増幅器の一層の増幅特性の向上がすすめられている。WDM 伝送の高機能化を実現するためには、具体的には、光ファイバ増幅器の利得帯域 (波長帯) の拡大、高出力化と同時に、利得帯域における利得の平坦性が重要になる。すなわち、エルビウム添加光ファイバは利得の波長依存性があり、これを補償して平坦な利得-波長特性 (利得平坦性) を付与する手段が必要とされる。また、エルビウム光ファイバは入力光のパワーによって利得の波長依

存性が変化するという特性を有する。したがって、入力光のパワーが変化しても、利得平坦性が維持されるように補償する構成が要求されている。

【0004】 上述のような課題を解決するものとして、これまでに、Optical Amplifiers and their Applications' 99 講演番号 FC3 に記載された光ファイバ増幅器、Optical Amplifiers and their Applications' 99 講演番号 WC5 に記載された光ファイバ増幅器などが提案されている。

- 10 【0005】 前者は 2 つのエルビウム添加光ファイバ増幅器の間に可変アッテネータ (可変減衰器) を挿入した光ファイバ増幅器である。なお、ここでエルビウム添加光ファイバ増幅器とは、エルビウム添加光ファイバと、このエルビウム添加光ファイバに励起光を入力するための励起光源とカプラなどから概略構成されたものをいう。この光ファイバ増幅器においては、前段のエルビウム添加光ファイバ増幅器は利得が一定制御されているため、入力光のパワー (信号入力パワー) が変動しても利得波長特性は変化しない。また、可変アッテネータは波長特性を持たないため、前段のエルビウム添加光ファイバ増幅器から可変アッテネータに至り、この可変アッテネータを通過した後も利得波長特性は変化しない。さらに、後段のエルビウム添加光ファイバ増幅器においては、励起光のパワーを一定にして光ファイバ増幅器全体の出力パワーを一定に制御することにより、信号入力パワーが変化しても利得平坦性の変化しない光ファイバ増幅器を実現している。後者は、この可変アッテネータの代わりに、波長特性のある損失傾き可変アッテネータを用いたものである。

## 30 【0006】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、これらの可変アッテネータを用いた光ファイバ増幅器は、利得を一定に制御したり、出力を一定に制御するための制御系や可変アッテネータが必要であるため、構成が非常に複雑で高価になってしまうという問題があり、また、信頼性も十分ではなかった。本発明は前記事情を鑑てなされたもので、広い利得域において利得の平坦性が得られる光ファイバ増幅器を提供することを課題とする。さらに入力信号光のパワーが変動しても利得平坦性が維持されるように、広い利得ダイナミックレンジにおいて利得の平坦性が変化しない光ファイバ増幅器を提供することを課題とする。また、構成が簡単で、低コストな光ファイバ増幅器を提供することを課題とする。また、信頼性の高い光ファイバ増幅器を提供することを課題とする。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】 前記課題を解決するために、本発明の光ファイバ増幅器は、第 1 のエルビウム添加光ファイバ増幅器と第 2 のエルビウム添加光ファイバ増幅器との間に、ツリウム添加光ファイバが設けられた光ファイバ増幅器であって、第 1 のエルビウム添加光フ

ファイバ増幅器に入力される信号光のパワー、すなわち光ファイバ増幅器の入力信号光のパワーと、該第1のエルビウム添加光ファイバ増幅器から出力される信号光のパワーをモニターして当該第1のエルビウム添加光ファイバ増幅器の利得を一定に制御する利得一定制御回路と、第2のエルビウム添加光ファイバ増幅器から出力される信号光のパワー、すなわち光ファイバ増幅器の出力信号光のパワーをモニターして当該第2のエルビウム添加光ファイバ増幅器から出力される信号光のパワーが一定になるように該第2のエルビウム添加光ファイバ増幅器の利得を制御する利得制御回路と、前記第1のエルビウム添加光ファイバ増幅器に入力される信号光のパワーと、トリウム添加光ファイバから出力される信号光のパワーをモニターして、該トリウム添加光ファイバの光の吸収特性を制御する吸収損失制御回路とを備えていることを特徴とする。また、吸収損失制御回路は、吸収光制御光源からトリウム添加光ファイバに入力される吸収損失制御光のパワーを制御することによって、トリウム添加光ファイバの光の吸収特性を制御しているものであると好ましい。

#### 【0008】

【発明の実施の形態】図1は本発明の一実施例の光ファイバ増幅器を示した構成図である。エルビウム添加光ファイバ増幅器を用いた光ファイバ増幅器は、WDM伝送に広く用いられているため、入力光は通常、波長多重された信号であり、その波長は1.55 $\mu$ m帯（例えば1540～1560nm）である。この光ファイバ増幅器は、第1のエルビウム添加光ファイバ増幅器4と、第2のエルビウム添加光ファイバ増幅器8と、これらの間に設けられたトリウム（Tm）添加光ファイバ5とを備えている。第1ないし第2のエルビウム添加光ファイバ増幅器4、8は、エルビウム添加光ファイバと、このエルビウム添加光ファイバに励起光を入力するための励起光源とカプラなどから概略構成されたものをいう。

【0009】また、トリウム添加光ファイバ5は、石英ガラス系の光ファイバのコアにトリウム（Tm）が添加されたものである。本実施例のトリウム添加光ファイバ5は、比屈折率差が0.8%、コア径が4.3 $\mu$ m、遮断波長が0.7 $\mu$ mのものである。トリウム添加光ファイバ5は1.55 $\mu$ m帯の光を吸収する特性を備えている。

【0010】図2は、波長に対するエルビウム添加光ファイバの利得傾斜とトリウム添加光ファイバの損失傾斜の関係の一例を示したグラフである。入力する光の波長はそれぞれ同じである。1539nm～1564nmの波長帯域ではエルビウム添加光ファイバの利得傾斜とトリウム添加光ファイバの損失傾斜はどちらも線形である。また、これらの傾斜の傾きは符号が逆で絶対値はほぼ等しくなっている。

【0011】エルビウム添加光ファイバとトリウム添加

光ファイバ5は、光ファイバ増幅器に要求される特性に適したものを適宜選択することができる。

【0012】そして、この光ファイバ増幅器に入力信号光1-1を入力すると、この入力信号光1-1は、第1のエルビウム添加光ファイバ増幅器4と第2のエルビウム添加光ファイバ増幅器8によって順次増幅されるとともに、その間のトリウム添加光ファイバ5によって利得の大きな波長の光が吸収される。その結果、この光ファイバ増幅器からは波長に対して平坦な利得-波長特性を備え、かつ一定の出力パワーの出力信号光1-2が出力される。

【0013】さらに、入力信号光1-1のパワーが変動しても利得平坦性を備えた一定の出力パワーの出力信号光1-2を得るために、第1のエルビウム添加光ファイバ増幅器4、第2のエルビウム添加光ファイバ増幅器8、およびトリウム添加光ファイバ5には、それぞれ以下のような制御手段が設けられている。

【0014】第1のエルビウム添加光ファイバ増幅器4の制御手段は以下の様な構成からなる。第1のエルビウム添加光ファイバ増幅器4の前段と後段には分岐部9、11が設けられており、これら分岐部9、11において、信号光の一部、すなわち入力信号光1-1と、第1のエルビウム添加光ファイバ増幅器4から出力する信号光の一部がそれぞれ分岐する。これらの分岐光は、それぞれ受光器10、12にて受光され、受光レベルに応じた電気信号に変換され、利得一定制御回路17に入力される。なお、受光器10の受光レベルは後述する吸収損失制御回路19にも入力される。

【0015】利得一定制御回路17においては、受光器10、12の受光レベルを比較し、第1のエルビウム添加光ファイバ増幅器4に入力する信号光のパワーと出力する信号光のパワーの比率が一定になるように、第1のエルビウム添加光ファイバ増幅器4の利得を一定に制御する。具体的には、第1のエルビウム添加光ファイバ増幅器4に設けられている励起光の光源から第1のエルビウム添加光ファイバ増幅器4に入力する励起光のパワーを増減させることによって、第1のエルビウム添加光ファイバ増幅器4における利得を一定に制御する。なお、励起光源は例えば波長980nmの半導体レーザが用いられる。

【0016】このように利得一定制御回路17によって利得が一定に制御されているため、第1のエルビウム添加光ファイバ増幅器4における利得波長特性は、入力信号光1-1のパワーが変化しても変化せず、常に一定に維持される。

【0017】第2のエルビウム添加光ファイバ増幅器8の制御手段は以下のような構成からなる。第2のエルビウム添加光ファイバ増幅器8の後段には分岐部15が設けられており、この分岐部15において、信号光の一部、すなわち光ファイバ増幅器の出力信号光1-2の一

部が分岐する。この分岐光は受光器 16 にて受光され、受光レベルに応じた電気信号に変換され、さらに利得制御回路 18 に入力される。利得制御回路 18 においては、この受光器 16 における受光レベルが一定になるように、すなわち出力信号光 1-2 のパワーが一定になるように第 2 のエルビウム添加光ファイバ増幅器 8 の利得を制御する。

【0018】具体的には第 2 のエルビウム添加光ファイバ増幅器 8 に設けられている励起光の光源から第 2 のエルビウム添加光ファイバ増幅器 8 に入力する励起光のパワーを増減させることによって、第 2 のエルビウム添加光ファイバ増幅器 8 における利得を変化させる。その結果、この光ファイバ増幅器においては常に一定のパワーの出力信号光 1-2 が得られる。

【0019】ここで、第 2 のエルビウム添加光ファイバ増幅器 8 においては利得を変化させると、図 2 に示したような利得傾斜のために、出力信号光 1-2 については、第 2 のエルビウム添加光ファイバ増幅器 8 への入力信号光の強度によって、利得の値自体と利得波長特性の両方が変化する。

【0020】したがって、この光ファイバ増幅器の利得平坦性を維持するためには、ツリウム添加光ファイバ 5 においては、入力信号光のパワーによって変動する第 2 のエルビウム添加光ファイバ増幅器 8 の利得波長特性の変化を補償する必要がある。そのため、ツリウム添加光ファイバ 5 の制御手段は以下のような構成からなる。ツリウム添加光ファイバ 5 と第 2 のエルビウム添加光ファイバ増幅器 8 との間には分岐部 13 が設けられており、この分岐部 13 において、信号光の一部、すなわちツリウム添加光ファイバ 5 から出力する信号光の一部が分岐する。この分岐光は受光器 14 にて受光され、受光レベルに応じた電気信号に変換され、吸収損失制御回路 19 に入力される。吸収損失制御回路 19 においては、受光器 10、14 の受光レベルを感知する。すなわち、入力信号光 1-1 のパワーとツリウム添加光ファイバ 5 から出力する信号光のパワーを感知する。

【0021】そして、入力信号光 1-1 のパワーの変動量の半分の量だけ、受光器 14 における受光レベルが変化するように、吸収損失制御光源 7 から分岐部 6 を経てツリウム添加光ファイバ 5 に入力する吸収損失制御光の大きさを制御し、ツリウム添加光ファイバ 5 における光の吸収損失と波長依存性を、第 2 のエルビウム添加光ファイバ増幅器 8 の利得の波長依存性を補償し、利得平坦性が維持できるように制御する。

【0022】なお、制御用に受光器 10、12、14 側に分岐する制御用の分岐光のパワーは直行する信号光よりも小さく、大部分の信号光がエルビウム添加光ファイバ 4、ツリウム添加光ファイバ 5、およびエルビウム添加光ファイバ 8 を透過して増幅され、出力信号光 1-2 として出力される。

【0023】前記吸収損失制御光源 7 としては、例えば半導体レーザが用いられ、その波長は、例えば 1500 ~ 1700 nm から選択される。信号光が 1.55  $\mu$ m 帯の場合はこの範囲と重複しないように、1.6  $\mu$ m 帯 (1580 ~ 1700 nm)、好ましくは 1580 ~ 1650 nm が選択される。ツリウム添加光ファイバ 5 は、吸収損失制御光源 7 からの吸収損失制御光の大きさを制御するのみでその吸収特性を変化させることができるため、構成が簡単で、比較的低コストで信頼性が高いという利点がある。

【0024】ここで、ツリウム添加光ファイバ 5 を設けない場合について考察すると、上述のように第 1 のエルビウム添加光ファイバ増幅器 4 の利得は常に一定であり、入力信号光 1-1 のパワーの変動に影響を受けない。これに対して第 2 のエルビウム添加光ファイバ増幅器 8 の利得はその入力信号光のパワーによって変化するように制御されており、その結果、入力信号光のパワーの変化によって利得とその波長依存性が変化する。したがって、第 1 のエルビウム添加光ファイバ増幅器 4 と第 2 のエルビウム添加光ファイバ増幅器 8 の利得をあわせた光ファイバ増幅器全体の利得とその波長依存性は、入力信号光 1-1 のパワーによって変動する。

【0025】そして、図 2 に示したように、1539 nm ~ 1564 nm の波長帯域ではエルビウム添加光ファイバの利得傾斜とツリウム添加光ファイバの損失傾斜はどちらも線形である。また、これらのグラフは符号が逆で絶対値はほぼ等しくなっている。そのため、ツリウム添加光ファイバ 5 を設け、第 2 のエルビウム添加光ファイバの利得とツリウム添加光ファイバ 5 の吸収損失を同じ量だけ変化させれば利得の平坦性を維持することができる。

【0026】したがって、光ファイバ増幅器の入力信号光 1-1 のパワーが変化し、第 2 のエルビウム添加光ファイバ増幅器 8 の利得が変化するとき光ファイバ増幅器全体の利得の平坦性を維持するためには、受光器 10 による受光レベルの変動量の半分の量だけ受光器 14 の受光レベルが変化するように吸収損失制御光源 7 を制御する。その結果、入力信号光 1-1 のパワーの変動量の半分の量だけツリウム添加光ファイバ 5 の吸収損失が変化し、図 2 に示した損失傾斜により、光ファイバ増幅器の利得波長特性が変化する。そして、この利得波長特性の変化した信号光が第 2 のエルビウム添加光ファイバ増幅器 8 に入力される。第 2 のエルビウム添加光ファイバ増幅器 8 では、図 2 に示した利得傾斜により、ツリウム添加光ファイバ 7 の利得波長特性の変化をうち消すように光ファイバ増幅器の利得波長特性が変化し、平坦な利得波長特性が維持される。

【0027】図 3 は、入力信号光 1-1 のパワーの変化させたときの光ファイバ増幅器の出力信号光 1-2 を実測したグラフである。吸収損失制御源としては 1.61

$\mu\text{m}$ のレーザダイオード(LD)を使用した。また、吸収損失制御光源7のパワーは最大150mWであった。グラフは入力信号光1-1のパワーごとにまとめられている。このように、入力信号光1-1のパワーが変化すると、利得の大きさは異なるが、いずれにおいても広い波長帯域において利得の平坦性は維持され、良好な結果が得られた。

#### 【0028】

【発明の効果】以上説明したように本発明においては、広い波長帯域において利得の平坦性が維持され、かつ広い利得ダイナミックレンジにおいて利得の平坦性が変化せず、入力信号光のパワーが変動しても利得平坦性が維持される光ファイバ増幅器を提供することができる。また、光の吸収に用いられるトリウム添加光ファイバは比較的低コストであり、構成および制御が簡単で、信頼性が高いため、光ファイバ増幅器においても、低コスト

化、信頼性の向上を図ることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の光ファイバ増幅器の一実施形態を示すブロック図である。

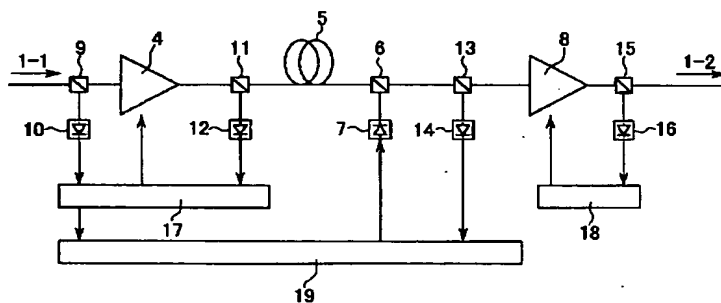
【図2】 波長に対するエルビウム添加光ファイバの利得とトリウム添加光ファイバの吸収損失の関係を示すグラフである。

【図3】 図1に示した光ファイバ増幅器の利得-波長特性の実測値を示したグラフである。

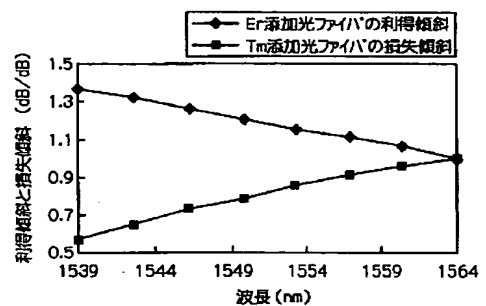
#### 10 【符号の説明】

4…第1のエルビウム添加光ファイバ増幅器、5…トリウム添加光ファイバ、7…吸収損失制御光源、8…第2のエルビウム添加光ファイバ増幅器、17…利得一定制御回路、18…利得制御回路、19…吸収損失制御回路。

【図1】



【図2】



【図3】

